



中华人民共和国国家标准

GB/T 48066—2026

低浓度煤矿瓦斯燃烧器燃尽度及污染物 排放评价规则

Evaluation rules for burnout rate and pollutant emissions of
low-concentration coal mine gas burner

2026-08-28 发布

2027-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 基本要求 2

 4.1 燃烧器 2

 4.2 测试环境 2

5 评价指标体系 3

 5.1 评价体系 3

 5.2 取值规则 3

6 测试方法 3

 6.1 测试系统组成 3

 6.2 测试仪器 4

 6.3 测试流程 4

 6.4 测试参数及方法 5

7 燃烧污染物浓度折算 6

 7.1 折算方法 6

 7.2 燃尽度 7

 7.3 甲烷转化率 7

 7.4 基准氧体积分数 8

 7.5 结果核算 8

8 评价报告 8

附录 A（资料性） 燃烧器基本配置 9

 A.1 甲烷体积分数小于 5% 的瓦斯燃烧器燃烧系统 9

 A.2 甲烷体积分数为 5%~9% 的瓦斯燃烧器燃烧系统 9

附录 B（资料性） 气体参数测量布置示意图 11

附录 C（资料性） 理论烟气参数计算 12

 C.1 理论烟气的量计算 12

 C.2 管道雷诺数要求 12

附录 D（资料性） 试验记录表 15

参考文献 17

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国燃烧节能净化标准化技术委员会(SAC/TC 441)提出并归口。

本文件起草单位：中国矿业大学、中国特种设备检验研究院、华北电力科学研究院有限责任公司、安徽省质量和标准化研究院、绍兴市威可多电器有限公司、华中科技大学、应急管理部信息研究院、中国科学技术大学、西安热工研究院有限公司、中国华能集团有限公司、清华大学、徐州矿务集团有限公司、华北电力大学、中国平煤神马控股集团有限公司、中国科学院广州能源研究所、安徽省特种设备检测院、合肥顺昌分布式能源综合应用技术有限公司、湖北特种设备检验检测研究院、广州市蓝炬能源科技有限公司、上海信环固雅环境集团有限公司、庆阳新庄煤业有限公司新庄煤矿、晋能控股集团有限公司、贵州帕尔斯低碳能源科技有限公司、安徽省凤形新材料科技有限公司、安徽省产品质量监督检验研究院、上海泰欣环境工程有限公司、山东禧龙石油装备有限公司、河南理工大学、山西焦煤集团新能源有限公司。

本文件主要起草人：刘方、余波、刘峰、赵培涛、刘成永、张文秋、吴海燕、张向宇、傅培舫、孙亦鹏、陶继业、杜磊、王海名、王中伟、杨丽、刘泽辰、李超、于洋、韩甲业、李延河、李星、郑树、杨必应、翟成、李军、张家顺、谭凯、张仲凌、瞿兆舟、刘赟臣、由长福、付文龙、刘文革、李国富、张海涛、续鹏飞、沈茂林、程文强、林其钊、郭伟、付永强、方明洋、万骏、韩颖、杨丽兵。

低浓度煤矿瓦斯燃烧器燃尽度及污染物 排放评价规则

1 范围

本文件规定了低浓度煤矿瓦斯燃烧器燃尽度及污染物排放评价的基本要求、评价指标体系和评价报告编制要求,给出了燃尽度及污染物测试方法、燃烧污染物浓度折算方法。

本文件适用于甲烷体积分数在 3%~9%范围内的煤矿瓦斯燃烧器(以下简称燃烧器)燃尽度及污染物排放的评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 8984 气体分析 气体中微量一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物含量的测定 火焰离子化气相色谱法

GB/T 9801 空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法

GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 30431 实验室气相色谱仪

GB/T 36699 锅炉用液体和气体燃料燃烧器技术条件

GB/T 37186 气体分析 二氧化硫和氮氧化物的测定 紫外差分吸收光谱分析法

GB/T 37650 燃烧方式 术语和定义

GB/T 43503 天然气 氧气含量的测定 电化学法

HJ/T 42 固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法

HJ/T 43 固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法

HJ/T 44 固定污染源排气中一氧化碳的测定 非色散红外吸收法

HJ 692 固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法

HJ 693 固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法

HJ 836 固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法

HJ 870 固定污染源废气 二氧化碳的测定 非分散红外吸收法

HJ 973 固定污染源废气 一氧化碳的测定 定电位电解法

HJ 1131 固定污染源废气 二氧化硫的测定 便携式紫外吸收法

HJ 1132 固定污染源废气 氮氧化物的测定 便携式紫外吸收法

HJ 1263 环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法

HJ 1332 固定污染源废气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 便携式气相色谱-氢火焰离子化检测器法

3 术语和定义

GB/T 37650 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低浓度煤矿瓦斯 low concentration coal mine gas

甲烷(CH_4)体积分数在 3%~9%范围内的煤矿瓦斯。

3.2

完全燃烧 complete combustion

低浓度煤矿瓦斯中所含有的全部可燃物质(碳、氢、硫)氧化燃烧后,只生成二氧化碳(CO_2)、水和二氧化硫(SO_2)的燃烧。

3.3

燃尽度 burnout rate

低浓度煤矿瓦斯完全燃烧的程度。

3.4

甲烷转化率 methane conversion rate

低浓度煤矿瓦斯中甲烷通过燃烧反应转化为二氧化碳、一氧化碳(CO)等产物的摩尔比例。

3.5

烟气基准氧浓度 flue gas reference oxygen concentration

标准大气压(101.325 kPa)下干烟气中的氧气(O_2)体积分数。

4 基本要求

4.1 燃烧器

4.1.1 应具备调节瓦斯流量、压力等功能。

4.1.2 燃烧器应保证安全稳定燃烧,满足以下要求:

- a) 运行过程中无结构不稳定、变形或者开裂等现象;
- b) 燃烧器在供气压力 1 kPa~10 kPa 范围内能正常运行;
- c) 燃烧器在额定功率范围调节过程中无吹熄、回火现象发生。

4.1.3 应具有完整的设计、制造资料和安装使用说明书。

4.2 测试环境

4.2.1 通用要求

燃烧器应布置在燃烧室内,燃烧室外侧应做保温处理,外壁面温度不应超过 50℃。烟气测点可布置在燃烧室或者燃烧室出口烟道内,当烟气测点布置在燃烧室出口烟道内时,其测点应避开烟道出口的回流。

4.2.2 稳定运行

测试前,燃烧器应至少稳定运行 1 h,即燃烧室温度波动幅度为 $\pm 30^\circ\text{C}$,压力波动为 $\pm 200\text{ Pa}$ 。

4.2.3 煤矿瓦斯体积分数

测试过程中,进入燃烧器的煤矿瓦斯中的 CH_4 体积分数应在 3%~9%之间。

5 评价指标体系

5.1 评价体系

燃烧器燃尽度及污染物排放评价指标及其等级判定应符合表 1 的规定。

5.2 取值规则

在开展燃烧器燃尽度及污染物排放评价时,应根据表 1 中规定的取值规则进行评价。

表 1 评价指标体系及取值规则

一级评价指标	二级评价指标	等级评价	
燃尽度	CH ₄ 与 CO 的 体积分数之和(α_1)/(cm ³ /m ³)	数值	等级
		$\alpha_1 \leq 50$	I
		$50 < \alpha_1 \leq 100$	II
		$100 < \alpha_1 \leq 200$	III
		$200 < \alpha_1$	IV
污染物	NO _x 质量浓度(α_2)/(mg/m ³)	$\alpha_2 \leq 30$	I
		$30 < \alpha_2 \leq 50$	II
		$50 < \alpha_2 \leq 80$	III
		$80 < \alpha_2$	IV
	颗粒物质量浓度(α_3)/(mg/m ³)	$\alpha_3 \leq 5$	I
		$5 < \alpha_3 \leq 10$	II
		$\alpha_3 > 10$	III
	SO ₂ 质量浓度(α_4)/(mg/m ³)	—	不定等次
CH ₄ 转化率	—	$\eta > 95\%$	I
		$90\% < \eta \leq 95\%$	II
		$85\% < \eta \leq 90\%$	III
		$\eta \leq 85\%$	IV
注：烟气中污染物评价指标的数值为烟气基准氧浓度下折算值,折算方法见第 7 章。			

6 测试方法

6.1 测试系统组成

6.1.1 概述

低浓度煤矿瓦斯燃烧测试系统见附录 A, 测试系统按瓦斯浓度 5% 以下和 5%~9% 两类工况进行配置。系统可实现瓦斯流量、压力、浓度的在线监测与调节, 瓦斯供气的快速切断, 不同浓度煤矿瓦斯燃烧性能的测试。

6.1.2 安全切断阀

自动安全切断阀的选用参照 GB/T 36699 执行。根据不同瓦斯浓度,燃料自动安全切断系统应满足以下条件:

- a) CH₄ 体积分数大于或等于 3%且小于 5%时,同时配备一支 B 级自动安全切断阀和一支手动安全切断阀;
- b) CH₄ 体积分数为 5%~9%时,串联安装两支 B 级自动安全切断阀或组合阀和一支手动安全切断阀。

6.1.3 监测装置

应安装流量、浓度、压力、温度等监测装置。

6.1.4 吹扫风机

应满足 GB/T 36699 的要求。

6.2 测试仪器

测试项目所需仪器见表 2。

表 2 测试仪器

序号	测试项目		测试设备/仪器名称
1	输出热功率范围测试		流量计
2	燃烧产物排放测试	CH ₄ 、CO、NO _x 含量	烟气分析仪
		O ₂ 含量	烟气分析仪
		燃烧室压力	压力表
3	烟气黑度测试		黑度计

6.3 测试流程

6.3.1 额定功率条件下测试

额定功率条件下燃烧器燃尽度及污染物排放测试步骤如下:

- a) 测试人员将燃烧器输出热功率调整至厂家声明的额定功率;
- b) 供电电压调整至额定电压(仅实验室测试适用);
- c) 燃烧室压力调整至燃烧器规定的压力值(仅实验室测试适用);
- d) 在烟气测点按 6.4 规定的方法检测烟气中的 CH₄、CO、NO_x 和 O₂ 的浓度;
- e) 实时记录燃料输入量,流量波动范围≤±2%;
- f) 测试持续时间 20 min,每隔 5 min 记录一次测试数据,每次记录时,应按照 6.4 规定的测试方法,并用经校准的便携式烟气分析仪进行采样测量。

6.3.2 最大输出功率条件下测试

最大输出功率条件下燃烧器燃尽度及污染物排放测试步骤如下:

- a) 测试人员将燃烧器输出热功率调整至最大值;
- b) 供电电压调整至额定电压(仅实验室测试适用);

- c) 燃烧室压力调整至最小值(仅实验室测试适用);
- d) 在烟气测点按 6.4 规定的方法检测烟气中的 CH₄、CO、NO_x 和 O₂ 的浓度(可采用满足表 4 精度要求的便携式烟气分析仪);
- e) 实时记录燃料输入量,流量波动范围≤±2%;
- f) 测试持续时间 20 min,每隔 5 min 记录一次测试数据,每次记录时,应按照 6.4 规定的测试方法,并用经校准的便携式烟气分析仪进行采样测量。

6.3.3 最小输出功率条件下测试

最小输出功率条件下燃烧器燃尽度及污染物排放测试步骤如下:

- a) 测试人员将燃烧器输出热功率调整至最小值;
- b) 供电电压调整至额定电压(仅实验室测试适用);
- c) 燃烧室压力调整至最大值(仅实验室测试适用);
- d) 在烟气测点按 6.4 规定的方法检测烟气中的 CH₄、CO、NO_x 和 O₂ 的浓度(可采用满足表 4 精度要求的便携式烟气分析仪);
- e) 实时记录燃料输入量,流量波动范围≤±2%;
- f) 测试持续时间 20 min,每隔 5 min 记录一次测试数据,每次记录时,应按照 6.4 规定的测试方法,并用经校准的便携式烟气分析仪进行采样测量。

6.4 测试参数及方法

- 6.4.1 低浓度瓦斯成分检测,其中 CH₄ 和 O₂ 为必选项,其他气体成分检测根据现场情况自行决定。
- 6.4.2 燃烧烟气成分浓度测量,其中 CH₄、CO、O₂、NO_x、CO₂、颗粒物为必选项,可根据现场情况检测 SO₂ 浓度。
- 6.4.3 低浓度瓦斯成分检测及烟气成分测量优先采用表 3 所列的方法进行检测。当采用便携式烟气分析仪(如电化学、非分散红外等)进行现场检测时,仪器精度应满足表 4 的要求,且每台仪器使用前应进行零点校准和量程校准。检测报告中应注明所用检测方法及仪器型号。

表 3 低浓度瓦斯以及燃烧烟气成分浓度测试方法

序号	成分项目	测试方法
1	CH ₄	GB/T 8984
		GB/T 13610
		GB/T 43503
		HJ 1332
2	CO	GB/T 8984
		GB/T 9801
		HJ 973
		HJ/T 44
3	O ₂	GB/T 30431
		GB/T 43503

表 3 低浓度瓦斯以及燃烧烟气成分浓度测试方法（续）

序号	成分项目	测试方法
4	NO _x	HJ 692
		HJ 693
		HJ 1132
		HJ/T 42
		HJ/T 43
5	CO ₂	HJ 870
		GB/T 8984
		HJ 870
6	颗粒物	HJ 1263
		GB/T 16157
		HJ 836
7	SO ₂	GB/T 37186
		HJ 1131
注：各成分测量布置要求见附录 B。		

表 4 检测项目精度要求

序号	检测项目	精度要求
1	气体流量	±0.5%
2	气体压力	±10 Pa
3	气体温度	±2 °C
4	O ₂ 、CH ₄ 体积分数	±0.1%
5	CO ₂ 体积分数	±0.1%
6	CO 质量浓度	±5 mg/m ³
7	NO _x 质量浓度	±5 mg/m ³
8	其他检测气体体积分数	±0.5%

7 燃烧污染物浓度折算

7.1 折算方法

低浓度煤矿瓦斯直接燃烧污染物排放应根据是否增加助燃空气进行折算，当增加助燃空气时，按照公式(1)进行折算。

$$C_s = C_t \times \frac{21 - \phi_s}{21 - \phi_t} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

C_s ——大气污染物对应烟气基准氧质量浓度下的排放值，单位为毫克每立方米(mg/m^3)；

C_t ——实测大气污染物排放值，单位为毫克每立方米(mg/m^3)；

ϕ_s ——干烟气基准氧体积分数，%；

ϕ_t ——干烟气实测氧体积分数，%。

当无助燃空气时，按照公式(2)进行折算。

$$C_s = C_t \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

C_s ——大气污染物对应烟气基准氧质量浓度下的排放值，单位为毫克每立方米(mg/m^3)；

C_t ——实测大气污染物排放值，单位为毫克每立方米(mg/m^3)。

7.2 燃尽度

燃尽度通过烟气中 CH_4 与 CO 的体积分数之和进行评价(见表1)。干烟气中 O_2 的理论体积分数按公式(3)进行计算：

$$y_{\text{O}_2-\text{gas}} = \frac{x_2 - 2x_1}{100 - 2x_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$y_{\text{O}_2-\text{gas}}$ ——干烟气中 O_2 的理论体积分数，%；

x_1 ——送入燃烧器低浓度瓦斯中 CH_4 的体积分数，%；

x_2 ——送入燃烧器低浓度瓦斯中 O_2 的体积分数，%。

按公式(4)判断 $y_{\text{O}_2-\text{gas}}$ 和 ϕ_t 的相对误差：

$$\delta = \frac{|\phi_t - y_{\text{O}_2-\text{gas}}|}{y_{\text{O}_2-\text{gas}}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

δ ——相对误差，%；

$y_{\text{O}_2-\text{gas}}$ ——干烟气中 O_2 的理论体积分数，%；

ϕ_t ——干烟气中 O_2 的实测体积分数，%。

当 $\delta > 10\%$ 时，干烟气的基准氧浓度按照 $y_{\text{O}_2-\text{gas}}$ 进行折算，即 $\phi_s = y_{\text{O}_2-\text{gas}}$ 。 CH_4 与 CO 的体积分数之和按公式(5)进行折算：

$$\alpha_s = \alpha_t \times \frac{21 - \phi_s}{21 - \phi_t} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

α_s ——按基准氧浓度折算的 CH_4 与 CO 体积分数之和，单位为立方厘米每立方米(cm^3/m^3)；

α_t ——烟气分析仪测得的 CH_4 与 CO 体积分数之和，单位为立方厘米每立方米(cm^3/m^3)。

7.3 甲烷转化率

CH_4 转化率按公式(6)进行折算：

$$\eta = \frac{X - \alpha - \beta}{X} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

η —— CH_4 转化率，%；

X ——送入燃烧器低浓度瓦斯中 CH_4 的物质的量，单位为摩尔(mol)；

α ——烟气中 CO 的物质的量，即未完全燃烧的量，单位为摩尔(mol)；

β ——烟气中 CH_4 未参与反应的物质的量,单位为摩尔(mol)。

当采用体积分数时,忽略烟气中的 CH_4 和 CO 的体积分数影响,采用体积分数对 CH_4 转化率进行计算,表达式为公式(7):

$$\eta = \frac{X - (\alpha + \beta)/(100 - 2X)}{X} \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

η —— CH_4 转化率,%;

X ——送入燃烧器低浓度瓦斯中 CH_4 的体积分数,%;

α ——干烟气中 CO 的体积分数,%;

β ——干烟气中 CH_4 的体积分数,%。

7.4 基准氧体积分数

干烟气基准氧体积分数按照表 5 规定选取。

表 5 干烟气基准氧浓度

序号	低浓度瓦斯 CH_4 体积分数(x)	干基准氧体积分数($\phi_{\text{基}}$)
1	$3\% \leq x < 5\%$	按烟气中实测氧浓度为基准
2	$5\% \leq x < 8\%$	8%
3	$8\% \leq x < 9\%$	3%

7.5 结果核算

为确定测量结果准确性,宜进行理论烟气参数计算,具体计算方法见附录 C。

8 评价报告

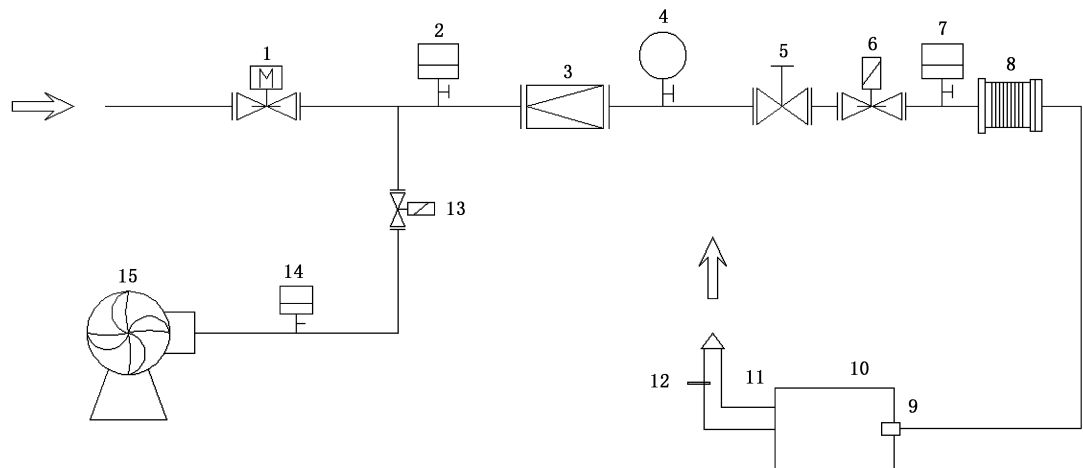
评价报告应至少包括以下内容,评价报告中的试验记录表见附录 D。

- 测试时间、地点。
- 燃烧器型号、燃烧器功率、生产厂家、出厂日期。
- 测试对应的功率和燃烧产物情况,包括最大输出功率、最小输出功率和中间输出功率。
- 低浓度瓦斯成分、流量、压力和温度。
- 空气流量、压力和温度。
- 烟气成分、流量、压力和温度。
- 燃烧器燃尽度、 NO_x 、颗粒物生成情况以及 CH_4 转化率评价等级。

附录 A
(资料性)
燃烧器基本配置

A.1 甲烷体积分数小于 5% 的瓦斯燃烧器燃烧系统

图 A.1 适用于 CH₄ 体积分数小于 5% 的瓦斯燃烧器燃烧系统布置。



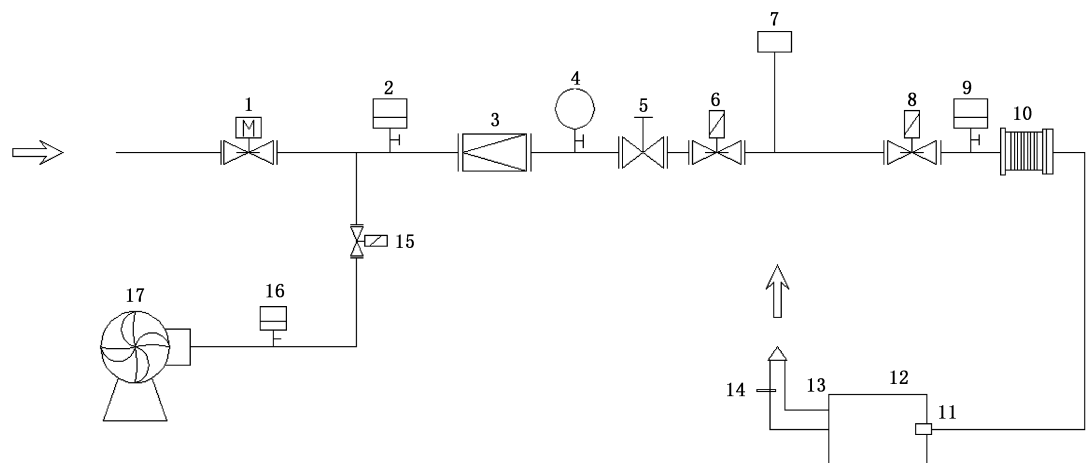
标引序号说明：

- | | | |
|--------------|-------------|---------------|
| 1——燃气流量调节装置； | 6 ——安全切断阀； | 11——烟道； |
| 2——瓦斯压力监测装置； | 7 ——压力监测装置； | 12——烟道测点； |
| 3——流量监测装置； | 8 ——阻火器； | 13——空气切断阀； |
| 4——浓度监测装置； | 9 ——燃烧器； | 14——空气压力监测装置； |
| 5——手动安全切断阀； | 10——燃烧室； | 15——吹扫风机。 |

图 A.1 体积分数小于 5% 的低浓度煤矿瓦斯燃烧测试系统示意图

A.2 甲烷体积分数为 5%~9% 的瓦斯燃烧器燃烧系统

图 A.2 适用于 CH₄ 体积分数为 5%~9% 的瓦斯燃烧器燃烧系统布置。



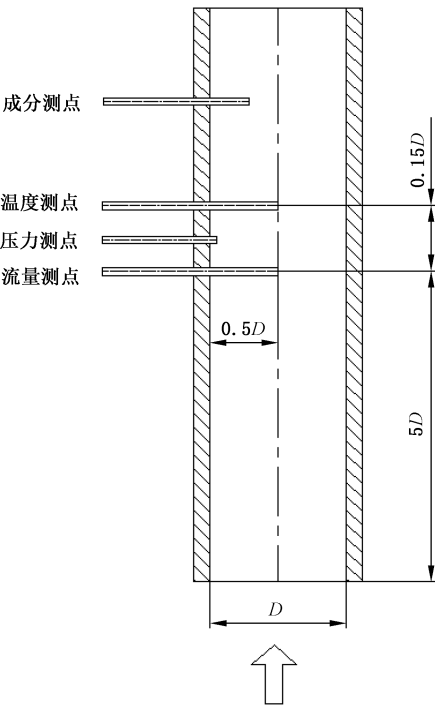
标引序号说明：

- | | | |
|--------------|--------------|---------------|
| 1——燃气流量调节装置； | 7 —— 阀门检漏装置； | 13——烟道； |
| 2——瓦斯压力监测装置； | 8 —— 安全切断阀； | 14——烟道测点； |
| 3——流量监测装置； | 9 —— 压力监测装置； | 15——空气切断阀； |
| 4——浓度监测装置； | 10——阻火器； | 16——空气压力监测装置； |
| 5——手动安全切断阀； | 11——燃烧器； | 17——吹扫风机。 |
| 6——安全切断阀； | 12——燃烧室； | |

图 A.2 体积分数 5%~9%低浓度煤矿瓦斯燃烧测试系统示意图

附录 B
(资料性)
气体参数测量布置示意图

低浓度瓦斯及烟气管道的温度、压力、流量以及成分的测点布置见图 B.1。



注：D 为管道内径，单位为毫米(mm)。

图 B.1 测点示意图

附 录 C

(资料性)

理论烟气参数计算

C.1 理论烟气的量计算

假设低浓度煤矿瓦斯完全燃烧,将气体体积流量折算成标准状态(0℃,101.325 kPa)流量,烟气体积流量保持不变。

C.2 管道雷诺数要求

C.2.1 管道流动处于湍流状态,即管道雷诺数 $Re > 2\,200$, Re 的计算见公式(C.1)。

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

ρ —— 气体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

v —— 气体速度,单位为米每秒(m/s);

D —— 管道水力直径,单位为米(m);

μ —— 气体动力黏度,单位为帕秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。

C.2.2 低浓度瓦斯气体成分以 CH_4 、 O_2 和 N_2 计,其密度按公式(C.2)估算,黏度按公式(C.3)~公式(C.5)估算。

$$\rho_{\text{ws}} = (x_{\text{O}_2} \times 1.46 + x_{\text{CH}_4} \times 0.75 + x_{\text{N}_2} \times 1.25) \times \frac{P \times 273.15}{101\,325 \times T} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

ρ_{ws} —— 低浓度瓦斯的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

x_{O_2} —— 氧气的体积分数,%;

x_{CH_4} —— 甲烷的体积分数,%;

x_{N_2} —— 氮气的体积分数,%;

P —— 管内测量压力值,单位为帕(Pa);

T —— 管内测量温度值,单位为开尔文(K)。

$$\mu_{\text{m}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_i}{\sum_{j=1}^n x_j \phi_{ij}} \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\phi_{ij} = \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (C.4)$$

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^m \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

μ_{m} —— 混合气体动力黏度,单位为帕秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$);

x_i —— 混合气体中第 i 组分的体积分数,%;

μ_i —— 混合气体第 i 组分的动力黏度,单位为帕秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$);

n —— 混合气体组分数目;

ϕ_{ij} —— 黏度修正系数,无量纲;

M_i ——混合气体第 i 组分的分子量,单位为克每摩尔(g/mol);
 M_j ——混合气体第 j 组分的分子量,单位为克每摩尔(g/mol);
 μ ——气体动力黏度,单位为帕秒(Pa·s);
 μ_0 ——273.15 K 时气体动力黏度(见表 C.1),单位为帕秒(Pa·s);
 T ——热力学温度,单位为开尔文(K);
 T_0 ——273.15 K;
 m ——修正系数(见表 C.1),无量纲。
气体的 μ_0 和修正系数 m 值见表 C.1。

表 C.1 检测气体的 μ_0 及 m 值

序号	物质	μ_0 10 ⁻⁶ Pa·s	m
1	N ₂	1.70	0.68
2	O ₂	1.98	0.693
3	CH ₄	1.06	0.76
4	CO ₂	1.43	0.82
5	H ₂ O	0.84	1.20

C.2.3 烟气成分按照 CH₄ 完全反应完计算,空气中只含有 O₂ 和 N₂,忽略低浓度瓦斯中的杂质气和空气中带入的水蒸气,烟气密度按公式(C.6)估算,黏度估算见公式(C.3)。

$$\rho_y = (x_{O_2} \times 1.46 + x_{N_2} \times 1.25 + x_{CO_2} \times 1.98 + x_{H_2O} \times 0.82) \times \frac{P \times 273.15}{101\,325 \times T} \dots\dots (C.6)$$

$$x_{O_2} = \frac{x_{O_2-ws} \times V_{ws} + x_{O_2-a} \times V_a - 2x_{CH_4} \times V_{ws}}{V_{ws} + V_a} \dots\dots\dots (C.7)$$

$$x_{N_2} = \frac{x_{N_2-ws} \times V_{ws} + x_{N_2-a} \times V_a}{V_{ws} + V_a} \dots\dots\dots (C.8)$$

$$x_{CO_2} = \frac{x_{CH_4} \times V_{ws}}{V_{ws} + V_a} \dots\dots\dots (C.9)$$

$$x_{H_2O} = \frac{2x_{CH_4} \times V_{ws}}{V_{ws} + V_a} \dots\dots\dots (C.10)$$

式中:

ρ_y ——烟气的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
 x_{O_2} ——烟气中 O₂ 的体积分数,%;
 x_{N_2} ——烟气中 N₂ 的体积分数,%;
 x_{CO_2} ——烟气中 CO₂ 的体积分数,%;
 x_{H_2O} ——烟气中 H₂O 的体积分数,%;
 P ——管内测量压力值,单位为帕(Pa);
 T ——管内测量温度值,单位为开尔文(K);
 x_{O_2-ws} ——低浓度瓦斯中 O₂ 体积分数,%;
 V_{ws} ——低浓度瓦斯气体流量,单位为标准立方米每时(Nm³/h);
 x_{O_2-a} ——空气中 O₂ 体积分数,21%;
 V_a ——空气流量,单位为标准立方米每时(Nm³/h);

x_{CH_4} ——低浓度瓦斯中 CH_4 体积分数, %;

$x_{\text{N}_2-\text{ws}}$ ——低浓度瓦斯中 N_2 体积分数, %;

$x_{\text{N}_2-\text{a}}$ ——空气中 N_2 体积分数, %。

附 录 D
(资料性)
试验记录表

燃烧器试验记录表的基本格式分别见表 D.1～表 D.3。

表 D.1 基本信息表

测试单位名称					
测试单位地址					
委托单位名称					
测试时间		测试地点			
生产厂家		出厂日期			
燃烧器名称		燃烧器型号			
燃烧器设计最小功率/kW		燃烧器设计最大功率/kW			
燃料瓦斯体积分数范围/%					
测试环境					
环境温度/℃		相对湿度/%		大气压力/kPa	
测试依据					
测试项目					
测试结论					
注：表中空格根据实际情况填写。					

表 D.2 低浓度瓦斯成分检测

序号	名称	符号	单位	测试数据	备注
1	CH ₄	CH ₄	%		
2	C ₂ H ₃	C ₂ H ₆	%		
3	O ₂	O ₂	%		
4	N ₂	N ₂	%		
5	高位发热量	Q _{gr,v}	MJ/Nm ³		
6	低位发热量	Q _{net,v}	MJ/Nm ³		
燃料化验依据标准：					
注：CH ₄ 、O ₂ 为必测项。					

表 D.3 燃烧器燃尽度及污染物排放评价表

功率/kW					
低浓度瓦斯气					
流量/(m ³ /s)		温度/℃		压力/kPa	
CH ₄ 平均体积分数/%			O ₂ 平均体积分数/%		
CH ₄ 平均体积分数 波动范围/%			CH ₄ 平均体积分数 相对变化量/%		
空气					
流量/(m ³ /s)		温度/℃		压力/kPa	
烟气					
流量/(m ³ /s)		温度/℃		压力/kPa	
烟气成分测试					
序号	评价指标		数值	等级	备注
1	CH ₄ +CO/(cm ³ /m ³)				
2	NO _x /(mg/m ³)				
3	颗粒物/(mg/m ³)				
4	CH ₄ 转化率/%				
注 1：功率分别为燃烧器最大输出功率工况、最小输出功率工况和中间输出功率工况。					
注 2：污染物排放数值均为折算至基准氧体积分数后的值。					

参 考 文 献

- [1] GB/T 36699 锅炉用液体和气体燃料燃烧器技术条件
-